

オサムシ科とクビボソゴミムシ科の防御物質の分泌

兼久勝夫*

Secretion of Defensive Substance by Carabidae and Brachinidae

Katsuo KANEHISA

The secretion of defensive substances by more than 250 species of carabid and brachinid beetles was investigated, and discussed from a phylogenetical viewpoint. The morphological characteristics of secretion glands and secreted components were identified in the genus level. Specific subgenus and species had peculiar characteristics.

The pair of defensive organs consisted of many small synthetic lobes, large reservoirs, collecting ducts from lobes to reservoirs and secretion ducts from reservoirs. The pair duct opened at the last sternal intersegmental membrane. There was species specificity in the reservoir shape, synthetic lobe shape and entering site of the collecting ducts into reservoirs. The spherical shape lobes produced short chain fatty acids, the elongated shape lobes produced *m*-cresol and the thick board shape lobes produced benzoquinones.

Two types of fatty acid-secreting beetles were found, one secreted formic acid, and the other mixed short chain fatty acids. These short chain fatty acids were metabolized from some amino acids, methacrylic acid was from valine; tiglic acid, α -ethyacrylic acid and angelic acid were from isoleucine; senecioic acid was from leucine and crotonic acid was from lysine. These unsaturated acids were sometimes detected with a trace amount of corresponding saturated acids. A few species secreted larger amounts of saturated acids with a trace amounts of unsaturated acids. Fatty acid composition was generally genus-specific. In a few cases, however, species-specific acid composition was also observed.

m-Cresol-secreting beetles were observed only in *Panagaeni* and *Chlaeniini* except subgenus *Chlaenius Chlaeniellus* beetle.

1,4-Benzoquinone and 2-methyl-1,4-benzoquinone-secreting beetles were observed in subgenus *C. Chlaeniellus*. This beetle secreted these substances at body temperature from a reservoir with no sound. Brachinidae beetles, called bombardier beetles, have a pair of brownish reaction chamber connected with a reservoir. They sprayed the two benzoquinones at about 100°C making sound.

Key words : Defensive secreting substance, Synthetic organ, Carabidae, Brachinidae, Phylogenetic relation

緒 言

オサムシ科とクビボソゴミムシ科の成虫は肛門の一つ前の腹面環節間膜に開孔する一對の防御物質分泌器官を有し、外敵の攻撃にあった時に噴射し、その毒性ないし忌避性によって逃れることがある。物質生成器官と貯蔵器官の形態、分泌様式と分泌物質は系統分類学的に特徴があり、研究の進展に応じて報じてきた(兼久ら 1972, 1981, 兼久 1973, 1979, 1983, 1991, Kanehisa and Murase 1977, Kanehisa and Shiraga 1978, Kanehisa and Kawazu 1982, 1985, Adachi *et al.* 1985)。250種以上を調査できた。ここに未発表の分を含めて総合的に報ずる。系統分類は原色日本甲虫図鑑(上野ら 1985)を基本に、日本産昆虫総目録(平島 1989)を参照した。

本実験を行うに当り岡山大学資源生物科学研究所の安江安宜名誉教授、積木久明教授、河田和雄元教授、白神 孝氏には種々の面で、中島 進博士には質量分析計の使用に当りご協力を頂いた。岡山大学農学部の中津一儀教授には初期の実験において質量分析計での解明にご協力頂いた。皆様に深謝申し上げる。

材料および方法

供試虫：岡山県を中心とした中国地方において採集した。種によって海浜、耕作畑、河原、堤防、荒れ地、林縁、林内に各々の棲息環境を有していた。灯火による白布への誘引採集、エチルアルコール、酢酸と黒砂糖による誘引採集も用いた。少数ではあるが、北海道その他で採集した種も供試した。

形態的観察：解剖顕微鏡下で少量の水を滴下して切開し、生合成器官、貯蔵囊、その連結管を観察した。一部はそのまま、またはグルタルアルデヒドで固定して走査電子顕微鏡(JEOL JSM-50A)で観察した。

分泌物の採集：生存していて刺激によって分泌できる成虫のみを使用した。実験当初は、濾紙へ噴射分泌させてジエチルエーテルで浸漬抽出していたが、多くはジエチルエーテルに1~2分間浸漬して分泌液とした。移し変えて第2のエチルエーテル液に入れて、長期間保存した抽出液(虫体から少量ながら種々の物が抽出される)と解剖後の貯蔵囊も磨砕しジエ

チルエーテルに分配抽出した液も物質同定に使用した。

薄層クロマトグラフィー：ベンゾキノンとクレゾールの同定に簡単に効果的な方法であった。シリカゲル60Gを用いて、展開液にはヘキサン：酢酸エチル(80：20)またはベンゼン：酢酸エチル(85：15)を多用した。発色剤にはアニスアルデヒド(0.5 ml)と硫酸(1.0 ml)をメタノール(8.5 ml)に混合し噴霧し、110°Cで加熱して発色させた。

水素添加：不飽和有機酸を分泌する種類が多く、抽出液に酸化白金を触媒とする水素添加により飽和脂肪酸とし、物質の同定に利用した。

ガスクロマトグラフィー：TCD型検出器を有するHitachi 063(Heガス)とFID型検出器を有するHitachi 163(窒素ガス)を使用した。かなり沢山の種類の充填剤と温度条件を用いたが、有機酸の分離に適したFON(Celite 545A-10%, 150°C恒温と70-220°C, 3°C/分の昇温)とFALM(Chromosorb W-25%, 130°C恒温)を多用した。

ガスクロマトグラフィー質量分析：当初はJEOL, JSM-D 300(JGC-20Kガスクロマトグラフ, ガラスカラム(長さ1 m, 直径2 mm)に質量分析計としてJMA-2000を付し, 15% FFAP(Neosorb 60/80 mesh)を充填剤とし, Heガス(流速25 ml/分), 90-150°C(3°C/分の昇温), 70 eV(イオン源200°C)で m/Z 30から m/Z 250まで測定した。CI質量分析(chemical ionization)にはイソブタンを用いた。

また, Shimadzu GCMS-QP 1000(A) EI/CI(GC-9Aガスクロマトグラフ, 長さ1 m, 直径2 mm)に10% FON(Celite 545 80/100 mesh)を充填剤とし, Heガス(流速40 ml/分), 70-240°C(8°C/分の昇温), 70 eV(イオン源250°C)で, m/Z 35から m/Z 400まで測定した。

合成試薬は和光純薬工業株式会社より購入した。

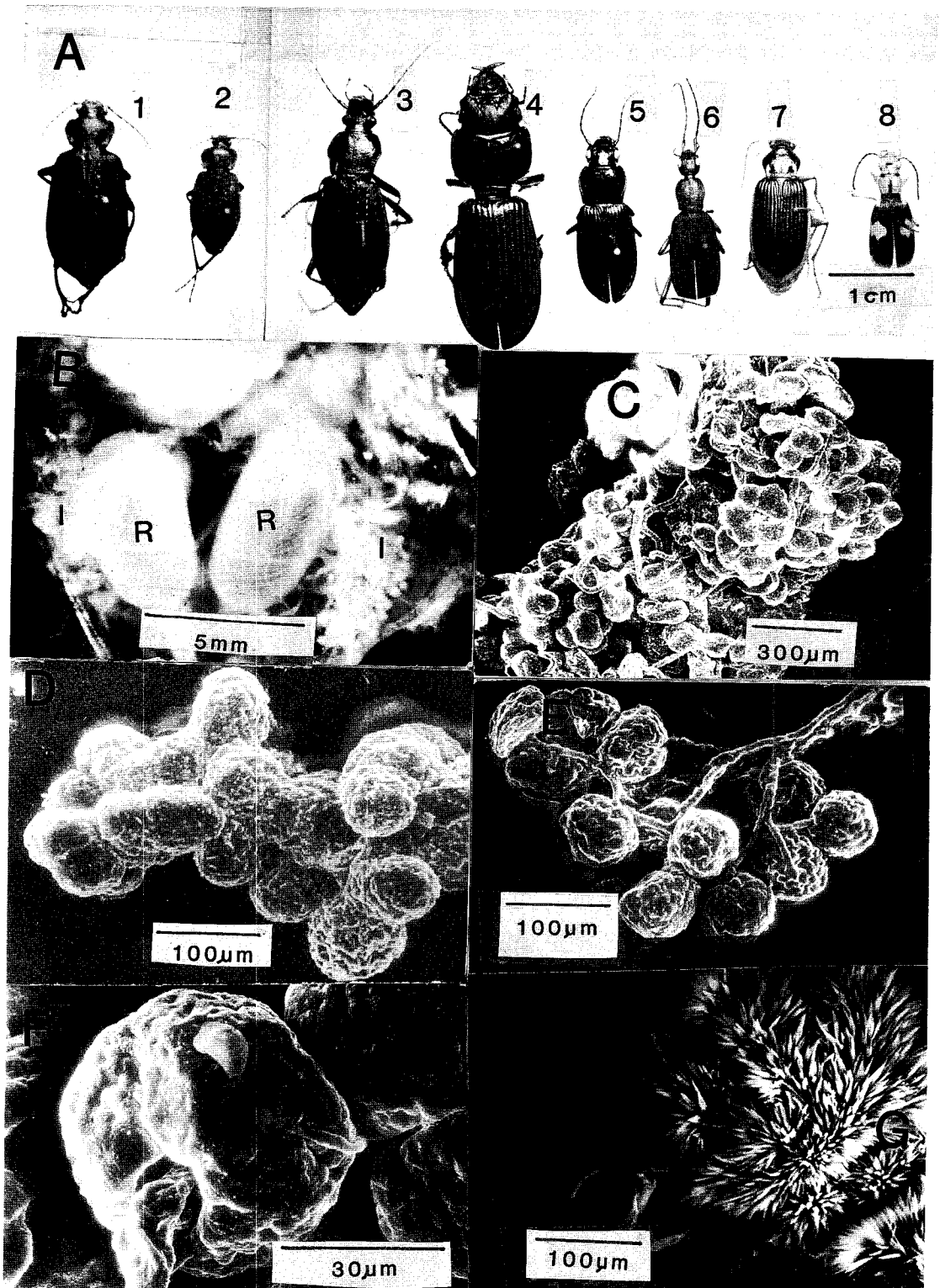
結 果

生合成器官と貯蔵囊の形態

形態的特徴はFig. 1とFig. 2に示す。解剖切開すると、目だって大きな貯蔵囊があり(Fig. 1, B), それは腹部腹面の末端環節膜(肛門の前環節)に開孔する排出管(Fig. 2, K)を有していた。また、貯蔵囊の下方から細長い連結管(Fig. 2, N)が側方か胸部方向に出て、先端部は分枝して多数の球形(Fig. 1, B), 紐状(Fig. 2, H), と板状(Fig. 2, L), の生合成器官があった。球形器官は有機酸を主成分とする分泌種にあり(Fig. 1, C~G), 紐状器官はメタクレゾールを主成分とする分泌種にあり(Fig. 2, H~J), 棒状器官はベンゾキンを主成分とする分泌種にあり(Fig. 2, LとM), 分泌物質に応じて特徴が明瞭であった。

一般的に大型の虫は生成器官が多く、貯蔵囊も大きく、刺激に応じての分泌量も多かった。個々の生成器官の大きさは体の大小による変化よりは小さかった。体長が数ミリ以下の小型種も多数いたが、数個内外の生成器官しか有さず、ごく少量の分泌しか検出できなかった種もあった。

球形生成器官を20% KOH等で構成タンパク質を加水分解するとキチン質の構造が見られた(Fig. 1, F, G)。多数の分枝した細管が星状となり、集まって生成された成分が連結管へ送られ、貯蔵囊へ輸送されることが推定された。



爆発音を出し、高温のベンゾキノンを分泌するクビボソゴミムシ科 (Brachinidae) の虫は白色半透明の貯蔵囊に続いて茶褐色の反応室があり、反応室は強固なキチン質からできていた (Fig. 2, O, 20% KOH 処理)。反応室の周辺には小囊が沢山あり、そこには貯蔵囊から送られて来る前駆物質を酸化する酵素が含まれていることが推定できた。

生成物質を集めた連結管が貯蔵囊へ嵌入する場所は排出管の近く (Fig. 2, H, K, L) にある種類が多いが、ヒョウタンゴミムシ族 Scaritini, オサムシモドキ *Craspedonotus tibialis* とクビボソゴミムシ科の虫では貯蔵囊の中間に嵌入していた。

薄層クロマトグラフィー

メタクレゾールとベンゾキノンの分離同定に有効な方法であった。Table 1 に Rf 値とアニスアルデヒドによる発色を示す。アオゴミムシ族 Chlaenini とクビボソゴミムシ科に多用した。

Table 1. Colour and Rf values of cresols and 1, 4-benzoquinones of thin layer chromatography (Merck Silca gel 60G)

Substance	Colour	Rf value	
		a	b
1, 4-benzoquinone	yellow brown	0.50	0.65
2-methyl 1, 4-benzoquinone	yellow brown	0.55	0.70
2-ethyl 1, 4-benzoquinone	yellow brown	0.60	0.75
<i>o</i> -cresol	red orange	0.57	0.63
<i>m</i> -cresol	pink	0.45	0.60
<i>p</i> -cresol	yellow red	0.48	0.62

Colour was developed by anisaldehyde-sulphuric acid. a; *n*-hexane : ethylacetate (80 : 20), b; benzene : ethylacetate (85 : 15).

ガスクロマトグラフィー

短鎖脂肪酸の分離に適した条件を調べ、Table 2 に多用した条件下における分泌物質の保持時間を示す。異性体、飽和と不飽和体の分離もできた。2-メチルブタン酸と3-メチルブタン酸の分離に当たっては保持時間による分離が有効であった。ほとんどの標品について質量分析計による確認も行った。

ガスクロマトグラフィー質量分析

分泌物資の同定に当り重要な方法であった。Fig. 3 に主要なマススペクトルを示す。

各虫の主要な分泌物質

系統的に Table 3 に主要な分泌物質を示す。成分が同一の場合は各属からは一種のみを表にした。

オサムシ族 Carabini にあって、エゾカタピロオサムシ *Campalita chinense* はサリシルア

Fig. 1. Carabid beetles and morphology of the defensive secretory organs. A: carabid beetles, 1: *Campalita chinense*, 2: *Hemicarabus tuberculatus*, 3: *Carabus yaconinus*, 4: *Scalites sulcatus*, 5: *Pterostichus fortis*, 6: *Galeritula orientalis*, 7: *Epomis nigricans*, 8: *Pheropsophus jessoensis*. B: reservoir organ (R) and synthetic lobes (l) of *Anisodactylus signatus*. C: synthetic lobes of *C. yaconinus*. D: synthetic lobes of *Pterostichus yoritomus*, spherical shape lobes produce fatty acids. E: synthetic lobes of *Platynus leucopus*. F: synthetic lobe of *Dolichus halensis*. G: synthetic lobe of *Amara gigantea* treated with 20% KOH solution.

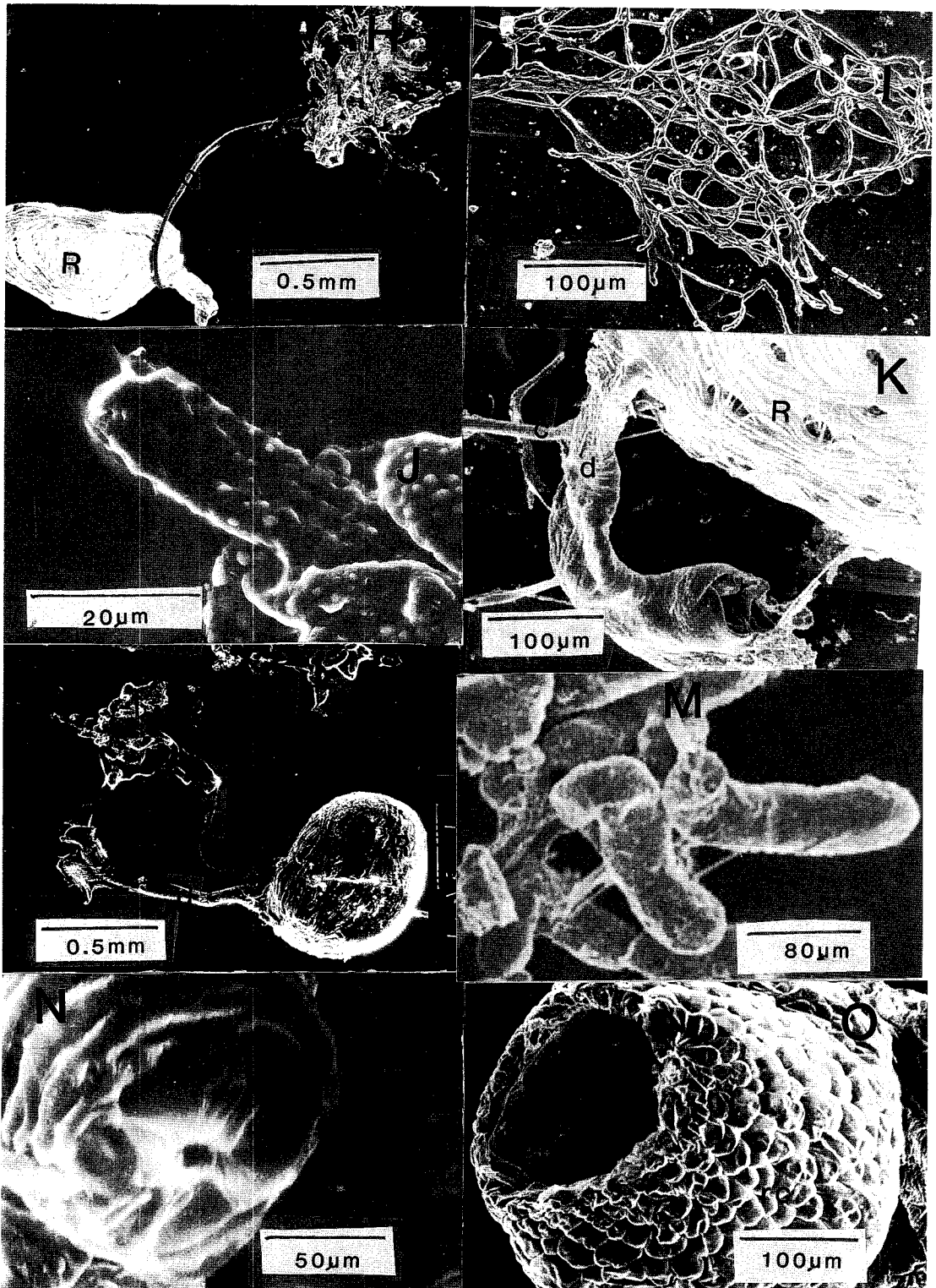


Table 2. Retention times (min) of authentic samples

Substance (saturated acid)	FON-10%, 150°C isothermal	FALM-25%, 130°C isothermal	FON-10% 70-220°C, 3°C/min
Formic acid	5.0	3.0	4.9
Methacrylic acid (2Me-propanoic)	9.8 (6.4)	9.0 (6.4)	6.9 (4.7)
Crotonic acid (Butanoic)	14.0 (8.0)	13.2 (7.2)	7.8 (6.1)
α -Ethylacrylic acid (2Me-butanoic)	14.8 (9.6)	14.8 (10.2)	8.3 (6.6)
Angelic acid (2Me-butanoic)	15.0 (9.6)	15.8 (10.2)	8.6 (6.6)
Senecioic acid (3Me-butanoic)	16.0 (9.6)	16.8 (9.8)	8.1 (6.6)
Tiglic acid (2Me-butanoic)	17.2 (9.6)	22.0 (10.2)	9.5 (6.6)
2-Hexenoic acid (Hexanoic)	30.4 (18.6)	34.0 (24.4)	11.2 (9.3)
Decylformate	16.8	34.8	6.4
Nonylacetate	14.0	31.4	6.1
Decylacetate	18.8	44.8	7.9
2-Tridecanone	23.6	67.0	28.2
Salicylaldehyde	14.5	16.0	8.0
<i>m</i> -Cresol	20.2	40.5	30.0

Carrier gas (He) flow rate was 30 ml/min

ルデヒドをメタアクリル酸とチグリン酸と共に分泌した。量的には個体差があったが、前の2物質はほぼ同量でチグリン酸はその1/3から1/5の量であった。この虫は飛べない虫の多いオサムシ類にあって、夜間灯火に飛来するし、採集する時に分泌を浴びて、衣服はサルシルアルデヒドの特有の臭いを付着させられた。ヒメオサムシ *Carabus japonicus* は岡山県南部に多いヤコンオサムシ *C. yaconinus* などと共にメタアクリル酸とチグリン酸の2種の不飽和有機酸を分泌した。前者は後者の2から3倍の量であった。取扱う時に噴射を浴びると痛みを感じた。*Carabus* 属は別の数種についても調べ、同じ成分を検出した。アキタクロナガオサムシ *Apotomopterus porrecticollis* はメタアクリル酸、チグリン酸の外に少量のエチルアクリル酸を分泌した。

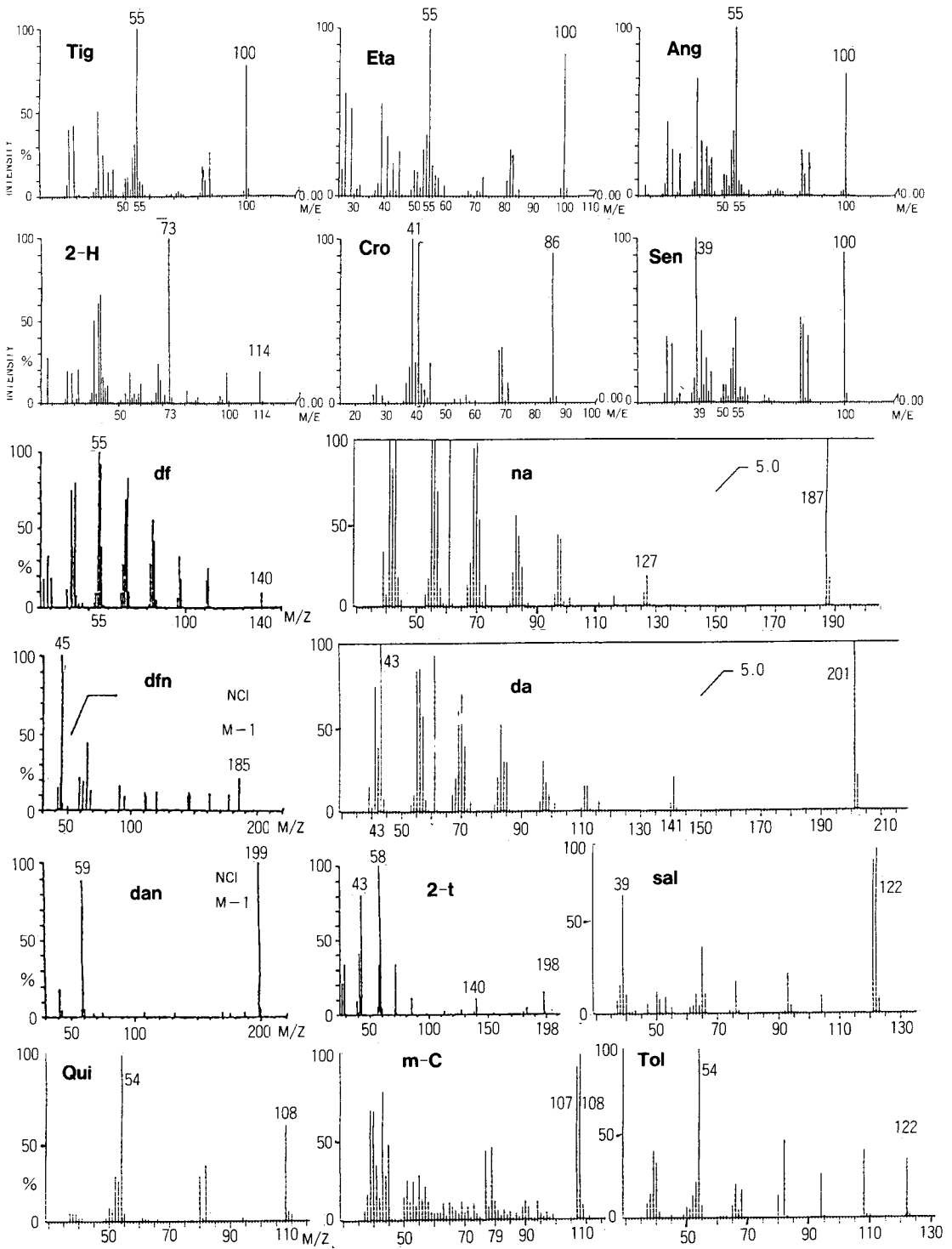
コクロナガオサムシ *Leptocarabus procerulus* とセアカオサムシ *Hemicarabus tuberculatus* はメタアクリル酸とエチルアクリル酸を分泌した。前者は後者の3から5倍量であった。*Leptocarabus* の類については別の数種を調べて同じ結果を得た。マイマイカブリ *Damaster blaptoides* はこれら2つの酸の外にごく微量のチグリン酸を分泌した。

マルクビゴミムシ族 Nebriini のナガキノカワゴミムシ *Leistus prolongatus*、カワチマルクビゴミムシ *Nebria lewisi* とメダカゴミムシ族 Notiophilini のミヤマメダマゴミムシ *Notiophilus impressifrons* はメタアクリル酸とチグリン酸を分泌した。ヒメマルクビゴミムシ *Nebria reflexa* は二つの不飽和酸の外に、それらの飽和酸を微量有していた。数種の *Nebria* 属も調べて同じ組成を確認したが、飽和酸が痕跡程度の種が多かった。

ヒョウタンゴミムシ族のヒョウタンゴミムシ *Scarites atterrimus* と同属3種はメタアクリル

Fig. 2. Carabid beetle defensive secretory organs. H: Secretory organ consisting of synthetic lobes (l), reservoir (R) and connecting duct (c) in *Chlaenius posticalis*. I: Elongated thread like lobes of *C. pallipes*, elongated thread like lobes produce *m*-cresol. J: Enlarged end of *m*-cresol synthesizing elongated lobe. K: Spraying duct and orifice with reservoir of *C. naeviger*. L: Benzoquinone secreting system of *Chlaenius Chlaenielus inops*. M: Enlarged benzoquinone synthesizing lobes of the former species. N: Cross section of the connecting duct. O: Reaction chamber of *P. jessoensis* (bombardier beetle). In this chamber, benzo-quinones were produced from precursor hydroquinone with oxygen by peroxidase and catalase.

オサムシ科とクビボソゴミムシ科の防御分泌



ル酸、クロトン酸、セネシオ酸とチグリン酸の4種の不飽和有機酸を分泌した。系統的には若干離れているヌレチビゴミムシ族 Patorobini のキアシヌレチビゴミムシ *Patrobus flavipes* も同じ4種の不飽和酸を分泌していた。

ヒサゴゴミムシ族 Broscini のミヤマヒサゴゴミムシ *Broscosoma doenitzi* はメタアクリル酸とチグリン酸を分泌した。オサムシモドキ *Craspedonotus tibialis* はこれら2つの酸の他にそれぞれの飽和酸を少量ながら含有していた。

チビゴミムシ族 Trechini のヒラタキイロチビゴミムシ *Trechus epippiatus*, ミズギワゴミムシ族 Benbidiini のヨツボシミズギワゴミムシ *Benbidion morawitzi* とこの属十余種, メダカチビカワゴミムシ *Asaphidion semilucidum*, ヌレチビゴミムシ族 Patrobinini のカワチゴミムシ *Diplous caligatus* と同属1種, ナガゴミムシ族 Pterostichini のオオゴミムシ *Lesticus magnus*, アカガネオオゴミムシ *Trigonognatha cuprescens*, ルイスオオゴミムシ *Trigonotoma lewisii*, キンナガゴミムシ *Pterostichus planicollis* と同属30余種, マルガタゴミムシ族 Amarini のコアオマルガタゴミムシ *Amara chalcophaea* と同属10余種などかなり多くの種がメタアクリル酸とチグリン酸の2つの不飽和酸を分泌した。前者は後者の数倍量であった。

系統順に記載される中であって, Benbidiini のコミズギワゴミムシのヨツモンコミズギワゴミムシ *Tachyura laetifica* とウスモンコミズギワゴミムシ *T. fuscicauda* はギ酸を分泌した。これらについて十分な調査種が得られなかったが, 他の Benbidiini がメタアクリル酸とチグリン酸を分泌するのと違う分泌物質であった。また, アオゴミムシ亜科のトックリゴミムシ族 Oodini も特異的な属であった。他のアオゴミムシ族がメタクレゾールを分泌したが, Oodini はメタアクリル酸, チグリン酸, エチルアクリル酸とこれらの飽和酸の混合酸を分泌した。

同属にあって種特異的であった虫として, *Pterostichus* の30余種の中でアシミゾナガゴミムシ *P. sulcitaris* のみは飽和酸が主成分で不飽和酸は痕跡量であった。*Amara* は10余種調査したが, キアシマルガタゴミムシ *Amara ampliata* のみはメタアクリル酸とチグリン酸の他に2-ヘキセン酸を分泌した。

ヒラタゴミムシ族 Platinini のオオヒラタゴミムシ *Platinus magnus* と同属の2種, ウスグロモリヒラタゴミムシ *Colpodes aequatus* と同属の10余種, クロツヤヒラタゴミムシ *Synuchus cycloderus* と同属10余種, セアカヒラタゴミムシ *Dolichus halensis*, セスジヒラタゴミムシ *Agonum daimio* と同族数種, ゴモクムシ族 Harpali のゴミムシ *Anisodactylus signatus* と同属3種, オオゴモクムシ *Harpalus capito* と同属10余種, オオクロツヤゴモクムシ *Trichotichunus lewisi* と同属10余種, コゴモクムシ族 Stenophilini のオオズヒメゴモクムシ *Bradycellus grandiceps* と同属3種, キイロチビゴモクムシ *Acupalpus inornatus*, ツヤマメゴモクムシ *Stenophilus iridocolor* と同属5種, キベリゴモクムシ *Anoplogenus cyanescens*, スナハラゴミムシ Licinini のオオスナハラゴミムシ *Diplocheila zealandica*, ク

Fig. 3. Mass spectra of typical defensive substances. Tig: tiglic acid, Eta: α -ethylacrylic acid, Ang: angelic acid, 2-H: (E)-2-hexenoic acid, Cro: crotonic acid, Sen: senecioic acid (α , α -dimethylacrylic acid, 3-methyl crotonic acid), df: decylformate, na: nonylacetate, dfn: negative chemical ionization of decylformate, da: decylacetate, dan: negative chemical ionization of decylacetate, 2-t: 2-tridecanone, sal: salicylaldehyde, Qui: 1, 4-benzoquinone, m-C: *m*-cresol, Tol: 2-methyl-1, 4-benzoquinone.

Table 3. Main components of the carabid beetle defensive secretion

Family, Tribe, Species	Main components
Carabidae	
Carabini	
<i>Campalita chinense</i>	salicylaldehyde, methacrylic acid, tiglic acid
<i>Carabus japonicus</i>	methacrylic acid, tiglic acid
<i>Apotomopterus porrecticollis</i>	methacrylic acid, tiglic acid, (α -ethylacrylic acid)
<i>Leptocarabus procerulus</i>	methacrylic acid, α -ethylacrylic acid
<i>Hemicarabus tuberculosus</i>	methacrylic acid, α -ethylacrylic acid
<i>Damaster blattoides</i>	methacrylic acid, α -ethylacrylic acid (tiglic acid)
Nebriini	
<i>Leistus prolongatus</i>	methacrylic acid, tiglic acid
<i>Nebria lewisi</i>	methacrylic acid, tiglic acid
<i>Nebria reflexa</i>	methacrylic acid, tiglic acid, (2Me-propanoic acid, 2-butanoic acid)
Notiophilini	
<i>Notiophilus impressifrons</i>	methacrylic acid, tiglic acid
Scaritini	
<i>Scarites aterrimus</i>	methacrylic acid, crotonic acid, senecioic acid, tiglic acid, (2Me-butanoic acid, <i>n</i> -butanoic acid, 2Me-butanoic acid, 3Me-butanoic acid)
Broschini	
<i>Brososoma doenitzi</i>	methacrylic acid, tiglic acid
<i>Craspedonotus tibialis</i>	methacrylic acid, tiglic acid (2Me-propanoic acid, 2Me-butanoic acid)
Trechini	
<i>Trechus ephippiatus</i>	methacrylic acid, tiglic acid
Bembidiini	
<i>Tachyura fuscicauda</i>	formic acid
<i>Bembidion morawitzi</i>	methacrylic acid, tiglic acid
<i>Asaphidion semilucidum</i>	methacrylic acid, tiglic acid
Patrobini	
<i>Patrobis flavipes</i>	methacrylic acid, crotonic acid, senecioic acid, tiglic acid, (2Me-propanoic acid, 2Me-butanoic acid)
<i>Diplous caligatus</i>	methacrylic acid, tiglic acid
Pterostichini	
<i>Lesticus magnus</i>	methacrylic acid, tiglic acid
<i>Trigonognatha aurescens</i>	methacrylic acid, tiglic acid
<i>Trigonotoma lewisii</i>	methacrylic acid, tiglic acid
<i>Pterostichus planicollis</i>	methacrylic acid, tiglic acid
<i>P. sulcitararsis</i>	2-methyl-propanoic acid, 2Me-butanoic acid, (methacrylic acid, tiglic acid)
Platynini	
<i>Platynus magnus</i>	formic cid, 2-tridecanoner
<i>Colpodes aequatus</i>	formic cid, 2-tridecanoner
<i>Synuchus cycloderus</i>	formic cid, 2-tridecanoner
Amarini	
<i>Amara chalcophaera</i>	methacrylic acid, tiglic acid
<i>A. ampliata</i>	methacrylic acid, tiglic acid, (E)-2-hexenoic acid

Family, Tribe, Species	Main components
Harpalini	
<i>Anisodactylus signatus</i>	formic acid, 2-tridecanone
<i>Harpalus capito</i>	formic acid, 2-tridecanone
<i>Trichoptichnus lewisi</i>	formic acid, 2-tridecanone
<i>Bradicellus grandiceps</i>	formic acid, 2-tridecanone
<i>Acupalpus inornatus</i>	formic acid, 2-tridecanone
Stenophilini	
<i>Stenophilus iridocolor</i>	formic acid, 2-tridecanone
<i>Anoplogenus cyanescens</i>	formic acid, 2-tridecanone
Licinini	
<i>Diplocheila zealandica</i>	formic acid, 2-tridecanone
Panagaeni	
<i>Panagaeus japonicus</i>	<i>m</i> -cresol
<i>Dischissus mirandus</i>	<i>m</i> -cresol
<i>Peronomerus auripillis</i>	<i>m</i> -cresol
Chlaeniini	
<i>Chlaenius pallipes</i>	<i>m</i> -cresol
<i>Haplochlaenius costiger</i>	<i>m</i> -cresol
<i>Epomis nigricans</i>	<i>m</i> -cresol
<i>Lithochlaenius noguchii</i>	<i>m</i> -cresol
<i>Chlaenius Chlaeniellus</i> (sub genus)	
<i>C. Chlaeniellus inops</i>	1, 4-benzoquinone, 2Me-1, 4-benzpquinone
Oodini	
<i>Oodes virens</i>	2Me-propanoic acid, 2Me-butanoic acid, methacrylic acid, α -ethylacrylic acid, tiglic acid
Odacanthitini	
<i>Archiocollinus bimaculata nipponica</i>	formic acid, 2-tridecanone
Lebiini	
<i>Cymindis daimio</i>	formic acid, 2-tridecanone
<i>Coptoderma japonica</i>	formic acid, 2-tridecanone
<i>Lioptera erotyloides</i>	formic acid, 2-tridecanone
<i>Dolichoctis striatus</i>	formic acid, 2-tridecanone
<i>Lebidia octoguttata</i>	formic acid, 2-tridecanone
<i>Apristus grandis</i>	formic acid, 2-tridecanone
Zuphini	
<i>Galerita orientalis</i>	formic acid, decyl formate, nonyl acetate, decyl acetate
<i>Planetes puncticeps</i>	formic acid, decyl formate, nonyl acetate, decyl acetate
Dryptini	
<i>Drypta japonicus</i>	formic acid, decyl formate, nonyl acetate, decyl acetate
Brachinidae	
Brachini	
<i>Pheropsophus jessoensis</i>	1, 4-benzoquinone, 2-methyl-1, 4-benzoquinone
<i>Brachinus scotomodes</i>	1, 4-benzoquinone, 2-methyl-1, 4-benzoquinone

() shows trace amounts, less than one percent.

ビナガゴミムシ族 *Odacanthini* のフタモンクビナガゴミムシ *Archicolliuris bimaculata nipponica*, アトキリゴミムシ族のダイミョウアトキリゴミムシ *Cymindis daimio*, コキノコゴミムシ *Coptodera japonica* と同属2種, キノコゴミムシ *Lipterae rotuloides*, コヨツボシアトキリゴミムシ *Dolichoctis striatus* と同属1種, ヤホシゴミムシ *Lebidia octoguttata* とスジミズアトキリゴミムシ *Apristus grandis* はギ酸を主成分に2-トリデカノンを副成分とする分泌であった。

スジバネゴミムシ族 *Zuphiini* のクビボソゴミムシ *Galerita orientalis*, フタホシスジバネゴミムシ *Planetes puncticeps* とホソゴミムシ族のアオヘリホソゴミムシ *Drypta japonicus* はギ酸を主成分にギ酸デシル, 酢酸ノニル, 酢酸デシルのエステル類を副成分として分泌した。

ヨツボシゴミムシ族 *Panagaeni* のヨツボシゴミムシ *Panagaeus japonicus* と同属1種, オオヨツボシゴミムシ *Dischissus mirandus*, クロケブカゴミムシ *Peronomerus nigrinus* はメタクレゾールを主成分に分泌し, 独得の強烈な臭いを発散した。アオゴミムシ族 *Chlaenini* のスジアオゴミムシ *Haplochlaenius costiger*, オオキベリアオゴミムシ *Epomis nigricans*, アオゴミムシ *Chlaenius pallipes* と同属10余種, ノグチアオゴミムシ *Lithochlaenius noguchii* もメタクレゾールを分泌した。

キベリアオゴミムシ *Chlaenius chleniellus circumductus* と供試できた同じ亜属の2種は1, 4-ベンゾキノンと2メチル1, 4-ベンゾキノンを分泌し, 亜属で特殊な成分を示した。形態な観察においてもベンゾキノン類を生成する器官の特徴を示した。

クビボソゴミムシ科の成虫は爆発音と共に高温で, 皮膚を褐色に染める噴射分泌を行う。ミイデラゴミムシ *Pheropsophus jessoensis*, オオホソクビゴミムシ *Brachinus scotomedes* と同属3種は1, 4-ベンゾキノンと2メチルベンゾキノンを分泌した。*Chlaeniellus* 亜属の分泌成分は同じであるが, アオゴミムシ類は貯蔵囊から直接外気へ分泌し, 体温と同じであるが, クビボソゴミムシ科は貯蔵囊に接して反応室があり, 酸化酵素によりハイドロキノンから急激にベンゾキノンが生成され, 100°C 近くの高温で爆発的噴射音と共に分泌された。

考 察

クビボソゴミムシの爆発音を伴う噴射分泌は約百年前に記載されたが(華 1898), 微量物質の分析が可能となるまではほとんど進展がなかった。世界的にも同じ事態であった。昆虫類の防御物質分泌の研究は1960年代から広範に研究されだした(Schildknecht *et al.* 1961, Eisner and Meinwald 1966, Moore and Wallbank 1968, Forsyth 1972, Blum 1981)。著者も鞘翅虫の防御物質分泌の解析を進め, その一環としてオサムシ科とクビボソゴミムシ科は種類数が多く, 物質的に形態的に変化が大きく, 系統分類の視点から解析を進めた。全体から見ると不十分な種数であるが, かなり全体を概観できるようになったと考えている。

主成分を生成し分泌する物質の種類から大別すると, 1) ギ酸あるいは短鎖脂肪酸, 2) メタクレゾール, 3) ベンゾキノンとなる。

酸分泌種は生成器官が球形をしているのが特徴である。詳細に見ると, 数, 大小, 丸さの程度, 球形の接合の程度, 貯蔵囊への嵌入場所などで, 族や属で特徴がある。ここでは成分の相違について述べる。a) ギ酸を主成分に副成分として2-トリデカノンを分泌する種類, b) ギ酸を主成分に副成分にデシルギ酸, ノニル酢酸とデシル酢酸等のエステルを分泌する

種類, c) メタアクリル酸とチグリン酸を約2:1から5:1の割合で分泌する種類, d) メタアクリル酸とエチルアクリル酸を約3:1から5:1の割合で分泌する種類, e) メタアクリル酸, クロトン酸, セネシオ酸とチグリン酸を約3:1:1:1の割合で分泌する種類, f) 上記の不飽和酸の飽和酸となった酸を分泌する種類, アシミゾナガゴミムシは2メチルプロパン酸(メタアクリル酸の飽和酸)と2メチルブタン酸(チグリン酸の飽和酸)を約3:1の割合で分泌した。各地に多い種類を度々調べたところ, 比率は若干の変動があったが成分は常に同一であった。ナガゴミムシ属は30種以上調べたが, アシミゾナガゴミムシのみが飽和酸が主成分であった。同属の中で特異的な種と考えられた。g) メタアクリル酸, チグリン酸と2ヘキセン酸を約5:1:0.5の割合で分泌する種類はキアシマルガタゴミムシのみであった。マルガタゴミムシ属は10種近く調べたが, この種のみ2ヘキセン酸を付加的に分泌した。これも度々調べ, 種の特異性と考えられた。h) 上記の脂肪酸の不飽和脂肪酸と飽和脂肪酸の両方を相当量で分泌する種類があり, トックリゴミムシ属の数種で見られた。

メタアクリル酸はバリンから, チグリン酸, エチルアクリル酸とアンジェリック酸はイソロイシンから, セネシオ酸はロイシンから各々の飽和酸を経由して生成されている(Duffy 1977, Kanehisa and Kawazu 1982, Adachi *et al.* 1985)。クロトン酸はリジンから生成される(野田ら 1976)。その過程で不飽和酸が主成分である種類が多いが, 飽和酸が主成分の種類もあり, 混在する種類もいるといえる。微量測定が可能になるに伴い, 不飽和酸が主成分で飽和酸が微量に検出される種類を見い出せるようになった。

ギ酸はセリンから生成されると考えられている(Blum 1978)。副成分が2-トリデカノンであるかエステルであるかは属の特異性であるが, その生成機構は未解明である。

メタクレゾールはアオゴミ族の中でキベリアオゴミムシ亜属を例外として, 他の全ての種と, ヨツボシゴミムシ属で検出された。一般にアオゴミ臭として, 採集者にその臭いは知られており, 生成器官は紐状をしているのが大きな特徴であった。

ベンゾキノンとしては, 1, 4-ベンゾキノンと2メチル1, 4-ベンゾキノンが検出されており, 後者は前者の数倍量が通常であった。特異的なグループとして, 前述のキベリアオゴミムシ亜属があり, 供試できた全てが同一であり, 亜属としての特徴がある唯一の例であった。この類の分泌は体温と同じであった。ベンゾキノン類は各々の還元型のハイドロキノンが少量ずつ検出された。後述のクビボソゴミムシ科においても同じである。

クビボソゴミムシ科は全ての供試虫で上述の2つのベンゾキノンの後者を前者の数倍量で分泌していた。この科の虫は貯蔵嚢に接続して反応室があり, 爆発音と共に約100°Cの高温で分泌するのが特徴の一つである。この科の供試虫において, その水溶性成分からグルコサイドが検出され, 前駆物質として貯蔵嚢中の存在を推定している。ベンゾキノンを分泌する種類は, 分泌様式は違っても, 生成器官の形態は同じ板状であった。

ゴミムシダマシ科 Tenebrionidae の成虫の多くはベンゾキノン類を生成し, 刺激されて, オサムシ科と同じ尾端腹面の肛門の前環節間膜から浸出分泌する。2エチル-1, 4ベンゾキノン, 2メチル-1, 4ベンゾキノンと1, 4-ベンゾキノンを10:1:(0~0.2)が30種以上の調査から判明しているが(兼久ら 1972), グルコサイドとしての前駆物質は検出されていない。また, 2エチルベンゾキノンを最大量に含有するのが Carabidae と Brachinidae との間の一つの大きな違いである。生合成系の違いが示唆される。

全体を通じて毒性を有する主成分と共に溶剤的機能と考えられるウンデカンやトリデカンなどの炭化水素が検出される種類が多い。溶剤的成分については詳細な検討が不十分で論述しなかった。

摘 要

オサムシ科とクビボソゴミムシ科の防御物質の分泌について系統分類学の視点から250種以上を調べた。属レベルで共通性が見られたが、中には亜属や種での特異性のある成分が検出された。

防御物質の分泌に関与する器官は左右一対の多数の小型の生合成器官、大きな貯蔵嚢、それをつなぐ輸送管と末端環節間膜に開孔する分泌管より構成されていた。体の大小、管の嵌入場所や貯蔵嚢の形などで、種による特徴があったが、生合成器官の形に相応して生成物質に特徴があった。すなわち、球形器官は短鎖有機酸を、紐状器官はメタクレゾールを、板状器官はベンゾキノンを生成した。

有機酸の分泌種としてはギ酸分泌種があり、この類にあつては副成分として2トリデカノンを含む類とエステルを含む類があった。オサムシ族、ナガゴミムシ族その他かなり多くの種類は分岐アミノ酸であるバリン、イソロイシンとロイシンやリジンから生成されるメタアクリル酸、チグリン酸、エチルアクリル酸、セネシオ酸やクロトン酸と各々の飽和酸の幾つかを構成成分としていた。一般的に属レベルで同じ成分が多かったが、例外的に種の特異性成分もあった。

メタクレゾールはキベリアオゴミムシ亜属を例外とするアオゴミムシ類とヨツボシゴミムシ類で検出された。

ベンゾキノンはキベリアオゴミムシ亜属が分泌し、亜属で特徴を示した。この類は貯蔵嚢のみからの体温での分泌であった。クビボソゴミムシ科もキベリアオゴミムシ類と同じ組成のベンゾキノンを分泌するが、貯蔵嚢に接して茶褐色をした酸化反応室を有し約100℃の高温噴射を爆発音と共に行つた。

キーワード：防御分泌物質、生成器官、オサムシ科、クビボソゴミムシ科、系統分類

引 用 文 献

- Adachi, Y., Kanehisa, K. and Tsumuki, H. 1985. Catabolic formation of methacrylic acid and tiglic acid from the branched chain amino acids in the pygidial defensive glands of *Carabus yaconinus* Bates (Coleoptera : Carabidae). Appl. Entomol. Zool. 20 : 492-493.
- Blum, M.S. 1978. Biochemical defenses of insects. In "Biochemistry of Insects" (Rockstein, M. ed.). 465-513. Academic Press, New York.
- Blum, S.M. 1981. Chemical defenses of arthropods. 1-562. Academic Press, London.
- Duffy, S.S. 1977. Arthropod allomones: Chemical effronteries and antagonists. In "Proceedings of XV International Congress of Entomology" (Deborah, W. ed.). 323-394. Entomol. Soc. Amer., College Park Md.

- Eisner, T. and Meinwald, J. 1966. Defensive secretion of arthropods. *Science* 153: 1341-1350.
- Forsyth, D.J. 1972. The structure of the pygidial defence gland of Carabidae (Coleoptera). *Trans. Zool. Soc. Lond.* 32: 249-309.
- 平島義宏 監修. 1989. 日本産昆虫総目録 1. 23. Coleoptera コウチュウ目 197-236. 九州大学農学部昆虫学教室・日本野生生物研究センター共同編集.
- 華溪生. 1898. ヘコキムシ, ハサミムシをたおす. *昆虫世界* 2: 319-320.
- 兼久勝夫・積木久明・白神 孝. 1972. ゴミムシダマシ類のベンゾキノン含有と分泌. *農学研究* 54: 91-99.
- 兼久勝夫. 1973. メタクレゾールを分泌するゴミムシ類. *農学研究* 54: 199-206.
- Kanehisa, K. and Murase, M. 1977. Comparative study of the pygidial defensive systems of carabid beetles. *Appl. Entomol. Zool.* 12: 225-235.
- Kanehisa, K. and Shiraga, T. 1978. Morphological study of the pygidial defensive systems in carabid beetles. *Ber. Ohara Inst. landwirt. Biolog. Okayama Univ.* 17: 83-94.
- 兼久勝夫. 1979. ゴミムシ類の防御物質と分泌腺. “昆虫の生理と化学” (日高敏隆他 3 氏 編) 301-318. 喜多美書房, 東京.
- 兼久勝夫・山下俊和・白神 孝. 1981. オサムシ類成虫の尾部防御分泌系の比較. *農学研究* 59: 93-100.
- Kanehisa, K. and Kawazu, K. 1982. Fatty acid components of the defensive substances in acid-secreting carabid beetles. *Appl. Entomol. Zool.* 17: 460-466.
- Kanehisa, K. and Kawazu, K. 1985. Differences in neutral components of the defensive secretion in formic acid-secreting carabid beetles. *Appl. Entomol. Zool.* 20: 299-304.
- 兼久勝夫. 1991. 昆虫のアロモンおよびカイロモン. “新ファール昆虫記” (寺西正行, 山村庄亮編) 79-106. 日本化学会, 大日本印刷, 東京.
- Moore, B.P. and Wallbank, B.E. 1968. Chemical composition of the defensive secretion in carabid beetles and its importance as a taxonomic character. *Proc. Roy. Entomol. Lond. (B)* 37: 62-72.
- 野田千征子・市原 明・木住雅彦・千畑一郎. 1976. アミノ酸代謝と生体アミン. “生化学実験講座II” 467-509. 東京化学同人, 東京.
- Schildknecht, H., Maschwita, U. und Winkler, H. 1968. Zur Evolution der Carabides-Wehrdrusensekrete. *Naturwiss.* 55: 112-117.
- 上野俊一・黒沢良彦・佐藤正孝. 1985. 原色日本甲虫図鑑 (II) 1-514. 保育社, 東京.